

УДК 551.588.6'

А.И. Колтунова, В.А. Азаренок, В.А. Усольцев, Н.В. Лившиц, М.Р.
Вафин, О.А. Ефименко, И.Н. Котельникова
(Уральский государственный лесотехнический университет)

РАСЧЕТ ПРИХОДНОЙ ЧАСТИ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ РУБОК В СОСНОВЫХ И БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ

Дан расчет приходной части углеродного баланса с учетом дополнительного прироста после сплошных и несплошных рубок на примере сосновых и березовых древостоев.

Сырьевые функции лесов, приоритетное значение которых было бесспорным на протяжении всего периода существования человеческой цивилизации, в конце прошлого века закономерно отступили на второй план перед биосферной ролью лесных ресурсов. Ведение хозяйства в лесу в настоящее время требует детального экологического обоснования, поскольку всевозрастающая вырубка лесов вызывает дисбаланс углерода в биосфере и связанные с ним нежелательные изменения климата. Поэтому современные технологии рубок должны разрабатываться с учетом их влияния на углерододепонирующую и кислородопroduцирующую функции лесов.

Оценка углеродного баланса лесных экосистем требует наличия обширных сведений по динамике их фитомассы. Многолетние исследования процессов накопления фитомассы лесов различных регионов страны позволили разработать математические модели, а на их основе – таблицы биологической продуктивности древостоев основных лесообразующих пород и создать базу данных о фитомассе лесов Северной Евразии (Усольцев, 1998).

Таблицы биологической продуктивности представляют исходные данные для расчета изменения запасов и депонирования углерода после проведения рубок. Созданная база данных о фитомассе лесов по природным зонам для основных лесообразующих пород Северной Евразии позволяет проводить верификацию разработанных моделей, обеспечивая контроль теоретических расчетов.

В данной работе использованы эскизы таблицы биологической продуктивности сосновых древостоев I класса бонитета и березняков Среднего Урала для разнотравной и ягодниковой группы типов леса (Усольцев, 1998). При расчетах были априори сделаны следующие допущения:

1) текущее изменение запаса стволовой древесины и общая надземная фитомасса древостоев на участках рубок имеют тенденцию сохранения

темпов роста, поскольку последние в значительной степени определяются локальными условиями местопроизрастания;

2) прирост фитомассы отдельных фракций закономерно увеличивается после проведения рубки;

3) отпад исключен выборкой ослабленных деревьев при рубке;

4) период прогнозных расчетов принят равным 20 годам, что обусловлено градацией данных в базовых таблицах биологической продуктивности;

5) возраст рубки в сосновых насаждениях условно принят в 100 лет, березовых древостоев – 60 лет;

6) расчет прироста фракций фитомассы и запасов депонированного углерода проведен применительно к следующим возможным способам рубок:

а) для сосновых насаждений

- при выборке 20 % запаса, что соответствует первому приему длительно-постепенных или добровольно-выборочных рубок;
- при выборке 30 % запаса, что соответствует первому приему двухприемных равномерно-постепенных рубок;
- при выборке 50 % запаса, что также допустимо для первого приема двухприемных равномерно-постепенных рубок;
- при выборке 100 % запаса, что соответствует сплошно-лесосечной рубке;

б) для березовых насаждений

- при выборке 20 % запаса, что соответствует первому приему длительно-постепенных рубок;
- при выборке 50 % запаса, что допустимо для первого приема двухприемных равномерно-постепенных рубок;
- при выборке 100 % запаса, что соответствует сплошно-лесосечной рубке.

Закономерности изменения текущего прироста запаса древостоев в зависимости от полноты изучены в достаточной степени (Науменко, Тарасевич, 1956; Хлюстов, 1986), однако динамика прироста фитомассы древостоев в связи с изменениями полноты последних пока еще не исследована в полной мере (Усольцев, 1988).

Тем не менее анализ имеющихся сведений в базе данных по фитомассе лесов основных лесообразующих пород Северной Евразии позволяет констатировать, что прирост надземной фитомассы древостоев с относительной полнотой менее единицы, выраженный в долях прироста максимально сомкнутого древостоя, взаимосвязан с соотношением запасов стволовой древесины этих насаждений. Таким образом, установить величину прироста фракций фитомассы и соответственно величину приращения депонированного в фитомассе углерода после проведения рубок возможно на основе следующего уравнения:

$$Z_{Pi}/Z_{P_{исх}}=(M_i/M_{исх})^U, \quad (1)$$

где Z_{Pi} – текущее изменение (прирост) фракции фитомассы после рубки, т/га в год; $Z_{P_{исх}}$ – текущее изменение (прирост) фракции фитомассы до рубки, т. е. в исходном возрасте, т/га в год; M_i – запас древостоя после рубки, м³/га; $M_{исх}$ – запас древостоя до рубки, м³/га; U – переменная, величина которой наиболее тесно коррелирует с коэффициентом прироста K_z (Хлюстов, 1986). В случае, когда этот коэффициент меньше единицы, т. е. прирост после рубки снижается, величина U имеет положительное значение, если же прирост фракций фитомассы после рубки возрастает, U приобретает отрицательное значение.

Связь переменной U с коэффициентом прироста фитомассы в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$U = f(K_z). \quad (2)$$

Для аппроксимации указанной взаимосвязи испытано несколько уравнений, наиболее приемлемыми следует признать уравнение параболы второго порядка в полулогарифмических координатах:

$$y = a + b \ln x + c \ln^2 x, \quad (3)$$

и уравнение системы кривых Пирсона:

$$y = (ax + b)/(c_0 + c_1x + c_2x^2). \quad (4)$$

Точность выравнивания данных по уравнению (3) для сосны составила $R^2=0,752$, для березы – 0,655; по уравнению (4) соответственно 0,754 и 0,655.

Полученные уравнения имеют следующие параметры:
для сосны

$$y = -0,161504 - 2,33733 \ln x - 0,186122 \ln^2 x, \quad (5)$$

$$y = (-0,189011x + 0,183537)/(0,0745766 + 0,152087x + 0,000286077x^2); \quad (6)$$

для березы

$$y = -0,219082 - 2,40795 \ln x + 0,409853 \ln^2 x, \quad (7)$$

$$y = (-0,720195x + 0,71285)/(0,128817 + 0,119693x - 0,00462415x^2). \quad (8)$$

Уравнения могут быть использованы в прогнозных расчетах только при условии снижения полноты древостоя после рубок не ниже 0,5.

В расчетах запасов углерода применены коэффициенты: 0,5 для стволов, ветвей, подроста; 0,45 – для хвон, листвы и травянистого яруса (Кобак, 1988). Исходные данные для расчета запасов углерода являются одновременно и контрольным вариантом для прогноза (табл. 1).

Таблица 1

Надземная фитомасса и запасы депонированного углерода в сосняках

Фракции	Показатели в возрасте, лет							
	Запасы фитомассы, т/га			Прирост фи- томассы, т/(га·год)		Запасы углерода, т/га		
	100	120	140	100	120	100	120	140
Стволы	176,7	190,9	207,1	0,710	0,810	88,35	95,45	103,6
Ветви	26,1	29,8	32,4	0,185	0,130	13,05	19,90	16,2
Хвоя	4,3	4,0	3,8	0,043	0,030	1,94	1,80	1,70
Подрост	3,1	3,4	3,6	0,155	0,010	1,55	1,70	1,80
Напочвенный покров	1,2	1,4	1,5	0,06	0,005	0,54	0,60	0,70
Общая надземная фитомасса	211,4	229,5	248,4	1,153	0,985	105,43	119,45	124,0

При проведении рубок в сосняках в возрасте 100 лет таксационная и продукционная характеристики древостоя закономерно изменяются: так, при выборке 20 % запаса стволовой древесины соотношение запасов ($M/M_{исх}$) до рубки и после составляет 0,8, при выборке 30 % – 0,7, при выборке 50 % – 0,5.

Прогноз накопления фитомассы и депонирования углерода проведен по уравнениям (1), (3), (4), для чего уравнение (1) преобразовано следующим образом:

$$Z_{Pi} = Z_{P_{исх}} (M/M_{исх})^U, \quad (9)$$

а расчет показателей фитомассы после рубок по фракциям проведен по соотношению:

$$P_i = P_{исх} + Z_{Pi}N, \quad (10)$$

где P_i – запас фитомассы отдельных фракций после рубки, т/га; $P_{исх}$ – запас фитомассы отдельных фракций до рубки, т/га; N – период прогноза, лет.

Следует отметить, что уравнение (4) имеет некоторую биологическую интерпретацию (Лир и др., 1974; Жирмунский, Кузьмин, 1982), по-

этому его использование в расчетах, связанных с приростом, предпочтительнее.

Продукционная характеристика сосновых древостоев в 120-летнем возрасте через 20 лет после различных вариантов рубки представлена в табл. 2.

Как следует из данных таблицы, через 20 лет после рубки с выборкой 20% запаса общая надземная фитомасса и запас углерода составят 88% от контроля, при выборке 30% запаса – 84,5%, а после рубки половины наличного запаса стволовой древесины биопродуктивность оставшегося древостоя достигает 80% контрольных показателей общей надземной фитомассы и запасов углерода. Фитомасса подроста в этом случае составляет 18% от общей продуктивности древостоев, что в 4,5 раза больше, чем при выборке 20% запаса, и в 3 раза больше, чем при проведении первого приема постепенной рубки с выборкой 30% запаса.

Проведение второго приема рубки осуществляется через класс возраста после первого, в течение этого времени в древостое происходит формирование нового поколения: в основном пологе – возраст 120 лет, на разреженных участках – второе поколение леса в возрасте 20 лет. Прогноз продукционной характеристики древостоя после рубки основного поколения рассчитан по таблице биопродуктивности (Усольцев и др., 1994). Так, для варианта длительно-постепенных рубок с выборкой 30% запаса в первый прием общая надземная фитомасса составит 16 т/га (ствол – 9,6 т/га; ветви – 1,6 т/га; хвоя – 0,7 т/га; подрост 2,2 т/га; нижний ярус – 1,9 т/га), запас углерода достигает 7,9 т/га, таким образом, на участке рубок сохраняется лесная среда и идет формирование условно-разновозрастного древостоя.

В случае сплошной рубки прогноз показателей фитомассы и углерода (табл. 3) осуществляется также по данным таблицы биопродуктивности (Усольцев и др., 1994) при условии, что древостой обеспечен достаточным количеством жизнеспособного подроста, рубка проведена в строгом соответствии с требованиями правил (Правила..., 1994).

Для верификации прогнозной модели осуществлены расчеты показателей прироста фракций фитомассы среднего дерева по данным контрольного варианта в возрасте 120 лет, пробных площадей близкого возраста и прогноза изменения продуктивности после различных по интенсивности выборки запаса рубок (табл. 4).

Таким образом, прогноз изменений биопродуктивности древостоев под воздействием различных вариантов рубок можно считать в достаточной степени корректным и отражающим закономерности продукционного процесса в чистых высокоплотных сосняках I класса бонитета.

Таблица 2

Прогноз показателей фитомассы и запасов депонированного углерода
в 120-летних сосняках (через 20 лет после рубки)

Фракции	Показатели при соотношении запасов												
	U				Текущий прирост фито-массы, т/(га·год)				Запас фитомассы, т/га			Запас углерода, т/га	
	0,8	0,7	0,5		0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5
Ствол	-1,0808	-0,3270	-0,9090		0,90	1,03	1,33	158,3	143,3	114,4	79,2	71,7	57,2
Ветви	-1,6529	-1,5766	-1,3349		0,27	0,32	0,47	25,4	24,0	21,8	12,7	12,0	10,9
Хвоя	-6,8158	-6,8839	-3,5400		0,20	0,50	0,50	8,0	13,5	12,5	3,6	6,1	5,6
Подрост	-2,7980	-3,0983	-3,2633		0,29	0,47	1,49	8,3	11,9	32,3	4,2	6,0	16,2
Напочвен- ный покров	-0,6923	-1,1398	-2,0800		0,01	0,01	0,03	1,2	1,2	1,5	0,5	0,5	0,7
Общая надземная фитомасса	-	-	-		-	-	-	201,2	193,9	182,5	100,2	96,3	90,6

Таблица 3

Прогноз показателей фитомассы и запаса депонированного углерода через 20 лет после сплошной рубки в сосняках I класса бонитета

Наименование показателей	Запас по фракциям, т/га			
	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
Фитомасса	25,6	8,8	3,8	38,2
Углерод	12,8	4,4	1,7	18,9

Таблица 4

Прирост фракций фитомассы среднего дерева, 10^{-3} т/(га·год)

Фракции фитомассы	Контроль	Прогноз при $M/M_{исх}$			Пробные площади с полнотой		
		0,8	0,7	0,5	>1,0	1,0	0,8
	120 лет	120 лет			122 года		112 лет
Ствол	2,2	2,4	3,1	5,6	1,6	2,8	4,1
Ветви	0,4	0,7	1,0	2,0	0,9	1,2	1,1
Хвоя	0,1	0,5	1,5	2,1	1,2	2,4	1,7

Таблица 5

Прогноз показателей фитомассы и запасов депонированного углерода березового древостоя в возрасте 80 лет (через 20 лет после рубки)

Фракции	Показатели при соотношении запасов							
	U		Текущий прирост фитомассы, т/(га·год)		Запас фитомассы, т/га		Запас углерода, т/га	
	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5
Ствол	-1,5854	-1,6167	1,02	2,2	123,6	108,4	61,8	54,2
Ветви	-1,0541	-1,4078	0,13	0,3	12,8	11,8	6,4	5,9
Листва	-3,8071	-4,0219	0,08	0,6	3,2	12,1	1,5	5,4
Подрост	-2,6436	-2,8717	0,20	0,8	5,6	17,9	2,9	9,0
Напочвенный покров	-1,4078	-3,0888	0,07	0,4	2,2	9,3	1,0	4,6
Общая надземная фитомасса	—	—	—	—	147,4	159,5	73,6	79,1

Прогноз биопродуктивности березовых древостоев после рубок с интенсивностью выборки 20, 50 и 100% запаса выполнен аналогично прогнозным расчетам в сосняках (табл. 5).

Как следует из данных табл. 5, общая надземная фитомасса и запас углерода при 20%-ной выборке запаса достигли в течение класса возраста 89% от контроля, а при 50%-ной выборке древостой восстанавливает 96% фитомассы и углерода контроля, при этом новое поколение леса составляет 12% от общей фитомассы, формируя смешанные насаждения, так как подрост в данном случае представлен сосной.

Прогноз показателей фитомассы и запасов углерода (табл. 6) через 20 лет после проведения сплошных рубок рассчитан по таблице хода роста надземной фитомассы березняков (Усольцев, 1998) в возрасте 20 лет.

Таблица 6

Прогноз показателей фитомассы и запаса депонированного углерода через 20 лет после сплошной рубки основного поколения в березняках

Наименование показателей	Запас по фракциям, т/га			
	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
Фитомасса	45,1	5,9	1,7	52,7
Углерод	22,6	3,0	0,8	26,4

Верификация прогнозных расчетов проведена сравнением прироста фракций фитомассы среднего дерева по данным контроля в возрасте 60 и 80 лет, пробных площадей близкого возраста и прогноза изменения продуктивности березняков после рубок (табл. 7).

Таблица 7

Прирост фракций фитомассы среднего дерева, 10^{-3} т/(га·год)

Фракции фитомассы	Контроль		Прогноз при $M_i/M_{исх}$		Пробные площади с полнотой 1,0		
	60 лет	80 лет	0,8	0,5			
			80 лет	80 лет	56 лет	67 лет	84 года
Ствол	0,77	0,31	1,38	4,78	1,35	1,46	2,52
Ветви	0,11	0,10	0,18	0,65	0,20	0,21	0,34
Листва	0,04	0,04	0,11	1,30	1,57	2,02	4,34

В заключение следует отметить, что приведенные прогнозные расчеты биопродуктивности древостоев после рубок в некоторой степени умозрительны, имеют предварительный характер, являясь первым приближением к оптимальному решению проблемы, и по мере накопления сведений в базе данных о фитомассе лесов Северной Евразии будут уточняться и совершенствоваться.

Как показывает анализ приведенных расчетов, в целях получения наибольшего прироста фитомассы лесов и минимизации потерь депонирования углерода при рубках наиболее целесообразными являются несплошные способы рубок, позволяющие в большей мере решать экологические проблемы, обеспечивая неистощительность экологического и сырьевого потенциала лесного фонда в процессе устойчивого управления лесами.

Система, оптимально сочетающая различные способы щадящих рубок и сохранность природной среды в условиях всевозрастающего техногенного прессинга, может быть создана лишь при наличии действенного контроля за лесопользованием со стороны органов, отвечающих за управление и сохранность лесов Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

Жирмунский А. В., Кузьмин В. И. Критические уровни в процессах развития биологических систем. М.: Наука, 1982. 178 с.

Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.

Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.

Науменко И. М., Тарасевич В. И. Возрасты и способы рубок сосновых насаждений // Научн. зап. Воронеж. лесотехн. ин-та. 1956. Т. 15.

Правила рубок главного пользования в лесах Урала. М., 1994. 33 с.

Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 254 с.

Усольцев В. А. и др. Ход роста надземной фитомассы сосняков и ельников Среднего Урала // Леса Урала и хоз-во в них. Екатеринбург, 1994. Вып. 17. С. 155-169.

Усольцев В. А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. 541 с.

Хлюстов В. К. Закономерности текущего прироста сосняков Казахского мелкосопочника: Автореф. дис. ...канд. с. - х. наук. Красноярск, 1986. 20 с.